

磁気流体シミュレーションを用いた太陽フレアにおける乱流・衝撃波構造の研究

Study of turbulence and shock wave structures in solar flares using MHD simulations

柴田健吾¹, 高棹真介¹

SHIBATA Kengo¹, TAKASAO Shinsuke¹,

大阪大学¹

Osaka University¹

1 研究の背景

太陽フレアは磁気リコネクションによって引き起こされる多波長の増光現象である。宇宙プラズマ物理の謎の一つに、磁気リコネクションに伴って陽子や電子はどこで、どのように加速されるのかという問いがあるが、この問題に答えるためにも太陽フレアが作り出す衝撃波・乱流構造を調べることは重要である。

太陽フレアが発生するとループ状の構造（フレアループ）が形成されるが、フレアループの上端は超音速のリコネクションアウトフローが衝突する場所であり、衝撃波や乱流といった構造ができやすく粒子加速にとって重要な場所として注目されている。さらに、二次元の磁気流体シミュレーションによりこのループトップが振動するモードが存在することが発見され [1]、観測的にもその振動の存在を示す例が見つかった [2]。このことはループトップの時間変動を調べることで加速場所の物理情報を引き出せる可能性を示唆する。しかしより現実的な3次元においても同様の機構で振動が発生・維持されるのかまだ理解されていない。我々はこれを調べるために三次元の磁気流体シミュレーションを実施した。

2 研究の手法

公開コード Athena++ [3] を用いて、三次元の磁気流体シミュレーションを実施した。初期条件としての大気・磁場構造は [1] と同様であるが、我々は奥行方向に計算領域を伸ばし、三次元で計算している。本シミュレーションでは熱伝導を含まない抵抗性磁気流体の方程式を解いている。

3 結果

我々は以下の二つの結果を得ることができた。(1) 三次元シミュレーションにおいてもループトップの振動が起こる。(2) 振動の過程でループトップ内に乱流が生成される。シミュレーションのスナップショット

を Fig.1 に示す。左側の大きい図はフレアループの全体像を表し、右側の4枚の図はループトップ領域を拡大してその時間発展を表したものである。時間とともにループトップ内の乱流が発達しているが、これはおそらく ballooning 不安定性を介して乱流を生じていると考えられる。

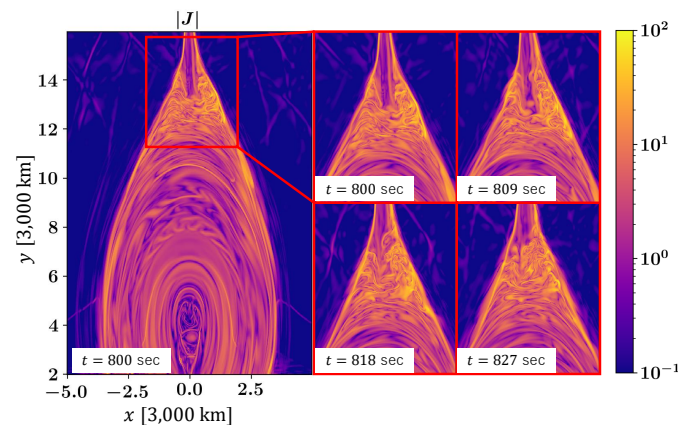


Fig. 1: シミュレーションの xy 平面スライスのスナップショット。カラーマップは電流密度の強さ（シミュレーションユニット）を表す。時間はシミュレーション開始からの経過時間を表す。時間とともにループトップ内の乱流が発達していることが分かる。

4 まとめ・今後の研究

本研究では三次元でもループトップの振動が起こること、またその振動が乱流を作り出すことが分かった。この乱流は粒子を閉じ込めて加速の要因になり得るため、粒子加速における影響を調べることを今後の課題としたい。

5 参考文献

- [1] Shinsuke Takasao and Kazunari Shibata 2016 ApJ 823 150
- [2] Katharine K. Reeves et al 2020 ApJ 905 165
- [3] James M. Stone et al 2020 ApJS 249 4